

37-42

豫、苏地区蓝晶石矿床蓝晶石的标型特征研究

王克勤 李明凯 闫国志 冯惠敏

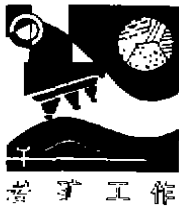
(国家建材局地质研究所·北京)

p619.281

片岩—石英岩型蓝晶石矿床的形成,经历了区域变质、动力变质及气成热液成矿阶段。不同成矿作用形成的蓝晶石,其物理性质、微量元素含量、氧同位素组成等,均存在一定的差异。

关键词 标型特征 蓝晶石 成矿作用 苏北 豫西南

蓝晶石矿床



地质工作

我国片岩—石英岩型蓝晶石矿床集中分布于豫西南、苏北地区。主要赋存于活动的地槽区及台褶带内,含矿地层均为元古界,分别隶属于二郎坪群小寨组和海州群云台组。矿体多为层状、似层状,少数为透镜状。含矿岩石主要为石英岩类、片岩类。矿石类型以石英岩型、片岩型为主,次为蓝晶石岩型。矿石中,蓝晶石含量10%~90%,一般大于40%,最高可达95%。因此,该类型矿床为我国较少见的蓝晶石富矿床,较典型的矿床有河南桐柏大王庄蓝晶石矿床、南阳隐山蓝晶石矿床、苏北沐阳韩山蓝晶石矿床。片岩—石英岩型蓝晶石矿床的地质研究,前人曾做过一些探讨^[1,2,3],钱定福等(1990)对南阳蓝晶石矿的工艺矿物学特征进行了研究^[4];范良明等(1982,1991)也曾对四川丹巴县云母片岩中的蓝晶石颜色成因及河南隐山蓝晶石矿床中的放射状蓝晶石集合体进行了矿物学研究^[5,6]。本文试图通过该类型矿床不同成矿作用形成的蓝晶石的矿物学特征研究,总结蓝晶石的标型特征,为成矿作用及成矿机理的深入分析提供矿物学依据。

1 成矿期划分及典型矿物组合

片岩—石英岩型蓝晶石矿床的主要含矿

岩性为石英岩类、片岩类,围岩则为白云母斜长片麻岩。蓝晶石首先是区域变质作用的产物,后期的动力变质作用及气成热液作用,则使矿石中的蓝晶石进一步富集,晶体加大,使矿石品位增高,从而形成了蓝晶石富矿体。该类型矿床形成经历了3个主要的成矿期,即区域变质成矿期、动力变质成矿期和气成热液成矿期。

1.1 区域变质成矿期

该期主要形成蓝晶石石英岩、蓝晶石石英片岩,相应的矿物组合为:蓝晶石+石英;蓝晶石+石英+白云母。

这两套矿物组合,均为赋矿组合。该期成矿作用形成的矿石较贫,蓝晶石含量一般为15%~40%,多呈板柱状,长轴为0.18~1.8mm,共生矿物主要为石英、白云母,少量黑云母、石墨。

1.2 动力变质成矿期

主要形成石英蓝晶石岩,相应的矿物组合为:蓝晶石+石英±白云母±石墨。

该期成矿作用形成的矿石较富,蓝晶石含量可达75%~80%,多呈柱状、板状,长轴1~2mm,近于无色,共生矿物主要为石英、白云母、石墨,偶见金红石。

1.3 气成热液成矿期

主要形成放射状蓝晶石岩,其次还形成

本文1993年4月收到,8月改回,范若芬编辑。

表1 片岩—石英型蓝晶石矿床蓝晶石的化学成分(%)表

序号	样号	成矿作用	晶形	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ +FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	其他	Σ	Al ₂ O ₃ /SiO ₂
1	H ₀ -19	区域变质 成矿作用	板柱状	62.57	36.08	0.22	0.03	0.25	0.16	0.00	0.11	-	99.12	1.734
2	H ₀ -11		板柱状	61.44	36.34	0.26	0.25	0.33	0.28	0.00	0.24	-	99.39	1.691
3	T-2		板柱状	62.11	36.41	0.03	0.30	0.49	0.05	0.00	0.00	-	99.55	1.706
4	T-1		板柱状	62.08	36.39	0.04	0.62	0.31	0.03	0.02	0.00	-	99.67	1.706
		平均值		62.05	36.31	0.14	0.30	0.35	0.13	0.005	0.09	-	99.29	1.709
5	H ₀ -13	动力变质 成矿作用	柱状	62.27	36.17	0.33	0.02	0.28	0.11	0.00	0.02	-	99.64	1.721
6	H ₀ -1	气成热液 成矿作用	长柱状	61.77	36.04	0.42	0.46	0.23	0.24	0.00	0.01	-	99.63	1.714
7	T-12		长柱状	61.16	36.89	0.03	0.58	0.36	0.25	0.03	0.00	-	99.53	1.666
8	T-9		长柱状	61.80	36.82	0.08	0.50	0.38	0.04	0.02	0.00	-	99.69	1.678
9	102		板斜状	63.40	34.28	0.38	0.13	0.02	0.04	0.06	0.09	1.04	99.44	1.849
10	101	成矿作用	板斜状	63.64	33.66	0.72	0.123	0.01	0.05	0.01	0.01	1.31	99.53	1.891
11	101		板斜状	62.10	34.89	1.77	0.106	0.13	0.05	0.03	0.01	0.88	99.77	1.780
12	701		板斜状	61.82	36.46	0.03	0.09	0.03	0.05	0.06	0.14	0.79	99.17	1.696
13	601		板斜状	61.94	36.36	0.01	0.225	0.01	0.05	0.03	0.04	1.32	100.02	1.704
		平均值		62.24	35.68	0.43	0.28	0.18	0.07	0.03	0.04	1.03	99.95	1.744
		理论值		63.10	36.90								1.710	

H₀ 为沐阳鞍山蓝晶石; T 为柳柏人王庄蓝晶石; 102~601 为南阳鞍山蓝晶石; 纯度大于 99%, 1~8 号为电子探针分析结果, 由地质科学院电子探针室分析。

白云母黄玉蓝晶石片岩、含蓝晶石石英脉及蓝晶石、含锶磷钙铝钒石英片岩。相应的矿物组合为:①蓝晶石±白云母;②蓝晶石±黄玉±白云母;③石英±蓝晶石;④蓝晶石±石英±白云母±含锶磷钙铝矾(?)。

这4套矿物组合中,①组合为富矿组合,蓝晶石含量可达95%,多呈细长柱状、板针状,晶体粗大,可达数毫米,近于无色,共生矿物为白云母,偶见金红石;②为含矿的组合,蓝晶石含量为40%~45%,多呈长柱状,近于无色,共生矿物主要为黄玉、白云母;③、④组合为不含矿的组合,蓝晶石含量为5%~10%。

2 化学成分标型特征

片岩—石英岩型蓝晶石矿床13个蓝晶石的化学分析结果见表1。可以看出,不同成矿作用形成的蓝晶石,其化学组成存在一定差异。区域变质作用形成的板柱状蓝晶石, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 、 MgO 、 CaO 、 K_2O 等杂质元素含量,较动力变质成矿作用形成的柱状蓝晶石

及气成热液成矿作用形成的长柱状、板针状蓝晶石高,仅 TiO_2 含量较低。作为蓝晶石主要组成元素的 SiO_2 、 Al_2O_3 含量,出现较有规律的变化,从区域变质的板柱状蓝晶石→动力变质的柱状蓝晶石→气成热液作用形成的长柱状、板针状蓝晶石, SiO_2 含量呈减少趋势, Al_2O_3 含量则呈增加之趋势。这种变化趋势可从 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 含量比值更能充分说明,由区域变质的板柱状→动力变质的柱状→气成热液形成的长柱状、板针状蓝晶石, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 平均比值为1.709,1.721,1.744。同蓝晶石的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 理论比值1.710相比,仅区域变质形成的板柱状蓝晶石比较接近,而动力变质及气成热液作用形成的蓝晶石都高于理论比值,因此,动力变质及气成热液作用形成的蓝晶石具有富铝贫硅的特点。

据化学分析结果,以5个氧为基准计算出不同成因蓝晶石晶体化学式中的阳离子数(表2)。应该指出,蓝晶石晶格中常见的是Fe对Al的置换。

表2 片岩—石英岩型蓝晶石矿床蓝晶石晶体化学式中的阳离子数

阳离子数	区域变质				动力变质	气成热液								
	板柱状				柱状	长柱状			板针状 ^[5]					
	Hc-19	Hc-11	T-2	T-4	Hc-13	Hc-4	T-12	T-9	102	101	401	701	601	
Al^{3+}	2.006	1.978	1.991	1.991	1.996	1.986	1.972	1.978	2.058	2.071	2.004	1.995	1.998	
Si^{4+}	0.982	0.993	0.990	0.990	0.984	0.983	1.004	1.000	0.994	0.928	0.955	0.998	0.995	
Fe^{4+}	0.004	0.005	0.001	0.000	0.007	0.009	0.001	0.002	0.008	0.015	0.037	0.001	0.002	
Fe^{3+}	—	—	—	—	—	—	—	—	0.002	0.003	0.002	0.002	0.005	
Fe^{2+}	0.001	0.006	0.007	0.014	0.001	0.010	0.013	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
Mg^{2+}	0.010	0.013	0.020	0.013	0.011	0.009	0.015	0.015	0.001	0.000	0.005	0.001	0.000	
Ca^{2+}	0.005	0.008	0.001	0.001	0.003	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Na^{+}	—	—	—	0.001	—	—	0.002	0.001	0.003	0.001	0.002	0.003	0.002	
K^{+}	0.004	0.008	—	—	0.001	—	—	—	0.003	0.0001	0.000	0.005	0.001	

范良明等曾对南阳隐山蓝晶石矿床及桐柏大王庄蓝晶石矿床的蓝晶石的Ti、Fe、V、Cr、Mn微量元素进行了研究^[6],表明气成热液形成的板针状、长柱状蓝晶石,其微量元素含量低于区域变质和动力变质作用形成的板柱状、柱状蓝晶石,唯有Ti含量高,这可归因

于气成热液形成的蓝晶石中存在微细金红石。不仅常量元素存在明显差异,微量元素含量也迥然不同。

3 晶体结构标型特征

蓝晶石晶体结构的研究,主要借助X衍

射分析技术。我们对沭阳韩山蓝晶石矿床 3 个蓝晶石矿物进行了 X 光射线分析, 获取了相应的衍射曲线(图 1)。所有样品的分析结果, 经 9214 程序反复修正, 与标准进行对比,

在满足精度的情况下, 先进行指标化, 然后求出了相应的晶胞参数 a_0 、 b_0 、 c_0 , 也对原来未测量的 d_{hkl} 值进行了校正。不同成因的蓝晶石, 其晶胞参数列于表 3

表 3 蓝晶石的晶胞参数

晶胞参数	区域变质	动力变质	气成热液				理论值
	H ₀ -19	H ₀ -13	H ₀ -4	102	401	601	
$a_0(\text{\AA})$	7.10250	7.11794	7.10070	7.11600	7.11000	7.11000	7.10
$b_0(\text{\AA})$	7.76250	7.73149	7.72906	7.84100	7.83200	7.83100	7.74
$c_0(\text{\AA})$	5.57478	5.56551	5.55747	5.55700	5.54400	5.54100	5.57

102、401、601 据文献[6]理论值据文献[7]。

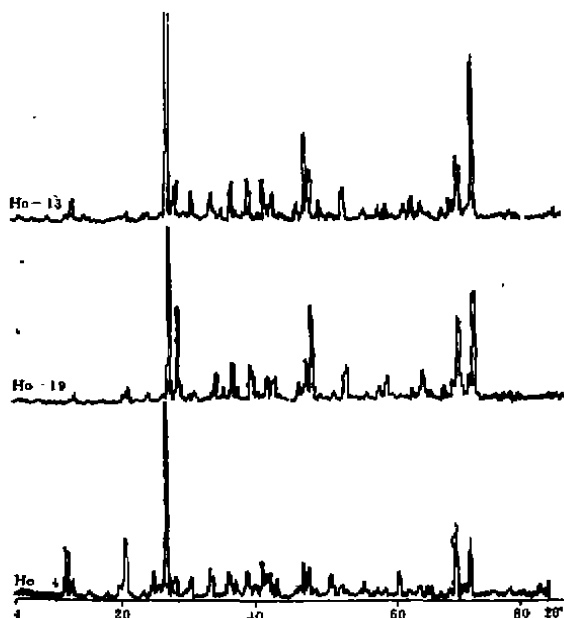


图 1 沭阳韩山蓝晶石矿床蓝晶石的 X 光粉晶衍射图谱

从表 3 很容易看出, 不同成矿作用形成的蓝晶石, 其晶胞参数值与理论值相比, 均存在一定的差异。 a_0 值与理论值较接近, 而 b_0 、 c_0 值或大或小。然不同成矿作用形成的蓝晶石, 其晶胞参数与理论值的差异程度是不同的, 区域变质作用形成的板柱状蓝晶石, a_0 值大 0.003 $\text{\AA}$ 左右, b_0 值大 0.02 $\text{\AA}$, c_0 值大 0.005 $\text{\AA}$; 动力变质作用形成的柱状蓝晶石, a_0 值大 0.02 $\text{\AA}$; b_0 值则小 0.01 $\text{\AA}$, c_0 值也小 0.02 $\text{\AA}$ 左右; 气成热液成矿作用形成的长柱状蓝晶石, a_0 值基本不变, b_0 、 c_0 值均小 0.02 $\text{\AA}$ 左右, 但板针状蓝晶石, a_0 值也基本不变,

b_0 值则大 0.1 $\text{\AA}$ 左右; 而 c_0 值则小 0.02 $\text{\AA}$ 。因此, 不同成矿作用形成的蓝晶石, 不仅化学成分存在一定的差异, 而且晶胞参数也存在差异。这些差异可归因于类质同像进入蓝晶石晶格的杂质元素的种类及其含量。

范良明等曾研究过晶胞参数与化学成分的相关性^[4]。结果表明, 对晶胞参数影响最大的是 FeO 含量。 a_0 、 b_0 值随 FeO 含量的增加而增加; c_0 值则随 FeO 含量的增加而减小。FeO 含量对蓝晶石晶胞参数影响的实质, 是由于 Fe^{2+} 离子进入晶格, 以类质同像方式取代八面体位置的 Al^{3+} 而引起。 Fe^{2+} 的离子半径为 0.61 $\text{\AA}$, 大于 Al^{3+} 的离子半径 0.535 $\text{\AA}$, 置换的结果, 较大半径的 Fe^{2+} 沿 a_0 和 b_0 方向排列, 使八面体形状改变, 并沿 a_0 和 b_0 方向增长, 沿 c_0 方向略有缩短。这正好恰如其分地解释了气成热液成矿作用形成的板针状蓝晶石, 其 b_0 值大于理论值, 而 c_0 值则小于理论值。

4 红外光谱标型特征

蓝晶石的红外吸收光谱带的振动位置为 400 ~ 1100 cm^{-1} 范围内, 其中以 400 ~ 600 cm^{-1} 位置的振动及 800 ~ 1030 cm^{-1} 位置的振动最强烈, 表现为两个较强的吸收带(图 2)。研究结果表明, 蓝晶石的 Si—O 不对称伸缩振动(V_3)的振动频率为 940 ~ 1035 cm^{-1} Si—O 对称伸缩振动(V_1)的振动频率为 670 ~ 900 cm^{-1} ; O—Si—O 弯曲振动(V_2)的振动

频率为 $620 \sim 640 \text{cm}^{-1}$; O—Si—O 弯曲振动 (V_2) 的振动频率为 $570 \sim 610 \text{cm}^{-1}$; Al—O 晶格振动的频率则为 $310 \sim 550 \text{cm}^{-1}$ 。与其他正硅酸盐相比,蓝晶石在 $880 \sim 1036 \text{cm}^{-1}$ 范围内的 Si—O 伸缩振动频率没有出现异常现象,但例外的是大多数正硅酸盐中变形振动频率低于 650cm^{-1} ,而蓝晶石却延伸到 730cm^{-1} 以上,且出现 $600 \sim 730 \text{cm}^{-1}$ 范围内的强吸收带,其原因在于蓝晶石中 Si—O—Al 键角较小, Al—O 距离较短,存在一部分共价键,因而会对 O—Si—O 的弯曲振动产生较大的影响。

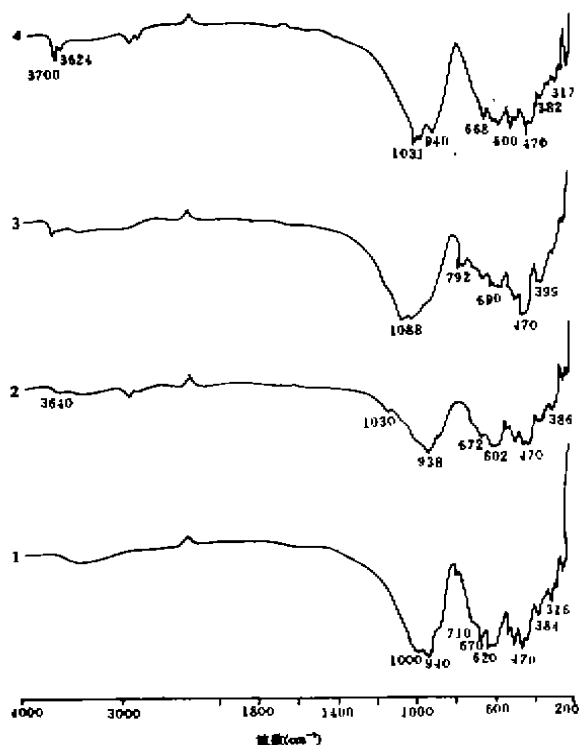


图2 蓝晶石的红外吸收光谱

1、2、3为韩山蓝晶石,4为桐柏蓝晶石

不同成矿作用形成的蓝晶石,其红外吸收光谱特征仍存在一定差异。如图2所示,区域变质成矿作用形成的板柱状蓝晶石,在 1000cm^{-1} 位置的吸收谷谷型较尖锐 (H_0-19 , $T-4$),吸收强度大;而在 470cm^{-1} 位置,区域变质的板柱状蓝晶石及气成热液形成的长柱

状蓝晶石,其吸收强度远远大于动力变质作用形成的柱状蓝晶石。从整体上说,区域变质及气成热液作用形成的蓝晶石,无论从红外吸收图谱型式看,还是吸收强度,均与动力变质作用形成的蓝晶石迥然不同。

5 氧同位素标型特征

沭阳韩山蓝晶石矿床及桐柏大王庄蓝晶石矿床5个蓝晶石的氧同位素分析结果表明,沭阳韩山蓝晶石矿床的 $\delta^{18}\text{O}$ 一般为 $2.06\text{‰} \sim 5.49\text{‰}$;桐柏大王庄蓝晶石矿床的 $\delta^{18}\text{O}$ 一般为 $11.36\text{‰} \sim 12.13\text{‰}$ 。可以看出,两个不同的蓝晶石矿床,其蓝晶石的氧同位素组成显然不同,沭阳韩山蓝晶石矿床明显低于桐柏大王庄蓝晶石矿床。这可能是由于前者变质程度较低,导致 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\delta^{16}\text{O}$ 的同位素分馏程度较差所致^①。就同一矿床而言,不同成矿作用形成的蓝晶石,其 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 也迥然不同,并存在一定的变化规律,即从区域变质形成的板柱状蓝晶石→动力变质形成的柱状蓝晶石→气成热液成矿作用形成的长柱状蓝晶石, $\delta^{18}\text{O}$ 值呈逐渐增大之趋势,这也正好说明,后期叠加的动力变质及气成热液成矿作用过程,也是使蓝晶石的氧同位素分馏作用逐渐加强的过程^①。

6 基本物理性质标型特征

沭阳韩山蓝晶石矿床及南阳隐山蓝晶石矿床,不同成矿作用形成的蓝晶石平均比重为:区域变质作用形成的板柱状蓝晶石X射线粉晶衍射法计算的比重为3.768(1),动力变质作用形成的柱状蓝晶石3.772(1),气成热液作用形成的长柱状、板针状蓝晶石实测比重3.654(6)。显然,以动力变质作用形成的柱状蓝晶石比重最大,区域变质作用形成的板柱状蓝晶石比重居中,而气成热液成矿作用形成的长柱状、板针状蓝晶石比重最低。

① 王克勤等,我国中东部地区铝质耐火原料(蓝晶石族)矿床成矿地质条件及找矿方向研究、内部资料。

这是因为后期叠加的动力变质作用压力较大,所形成的蓝晶石比重必然增大;同理,气成热液成矿环境压力相对较低,所形成的蓝晶石比重必然较低

范良明等对南阳隐山蓝晶石矿床中的气成热液板针状蓝晶石的比重、比磁化率及热学性质进行了更为深入的研究^[6],结果表明,随着蓝晶石天然粒度的增大,比重呈减小趋势;相同粒度的蓝晶石,在矿体不同部位,比重也不尽相同;比磁化率也较低,介于 $-0.06 \times 10^{-6} \sim -0.24 \times 10^{-6} \text{cm}^3/\text{g}$ 之间,并认为比磁化率与 Fe_2O_3 量呈极好的正相关。因此,相同成矿环境所形成的蓝晶石,其比重、比磁化率也存在一定的差异。

热学性质的研究结果表明^[6],从常温至 1200°C ,DTA曲线近于直立,无明显热效应;从 1200°C 开始,DTA曲线缓慢上升,由蓝晶石开始分解的放热效应引起,放热峰峰值为 1332°C ,其后DTA曲线陡然下降,出现吸热效应,吸热谷谷底为 1428°C ,为蓝晶石相变为莫来石所致。

7 结论

片岩—石英岩型蓝晶石矿床蓝晶石矿物学特征的研究结果表明,不同成矿作用形成的蓝晶石,其化学成分、晶体结构、红外吸收光谱特征、物理性质及氧同位素组成均存在一定的差异,区域变质作用形成的板柱状蓝晶石, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比值为1.709,接近蓝晶石

的理论比值1.710,其微量元素Fe、V、Cr、Mn含量较高; a_0 值与理论值($7.10 \text{ \AA}$)接近, b_0 、 c_0 值均大于理论值;在 1000cm^{-1} 位置的吸收谷谷型较尖锐,吸收强度大, 470cm^{-1} 位置的吸收强度也较大; $\delta^{18}\text{O}$ 值也较低。而动力变质作用形成的柱状蓝晶石、气成热液成矿作用形成的板针状、长柱状蓝晶石,其 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比值为1.721、1.774,均大于理论值,微量元素Fe、V、Cr、Mn的含量较低,唯Ti含量较高; a_0 值与理论值接近, b_0 值一般都远远大于理论值;但 c_0 值均小于理论值;在 1000cm^{-1} 位置的吸收谷谷型较宽缓,吸收强度相对较小,在 470cm^{-1} 位置吸收强度也相对较小; $\delta^{18}\text{O}$ 值较高;动力变质作用使蓝晶石的比重增大,气成热液成矿作用则使比重减小。

参考文献

- 1 付建全等, 隐山蓝晶石矿床地质特征及成因探讨, 河南地质, 1984(2)。
- 2 江苏地质6队, 江苏省沐阳县韩山石英岩型蓝晶石矿床地质特征, 华东地质科技情报, 1985(1)
- 3 王克勤等, 豫西南、苏北地区片岩—石英岩型蓝晶石矿床成矿作用研究, 建材地质, 1992(4)
- 4 钱定福等, 南阳蓝晶石矿的工艺矿物研究, 矿产综合利用, 1990(1)
- 5 范良明等, 四川丹巴蓝晶石颜色的成因, 矿物学报, 1982(2)
- 6 范良明等, 河南隐山蓝晶石矿床中的放射状蓝晶石集合体, 成都地质学院学报, 1991(2)
- 7 王 镭等, 系统矿物学(中册), 北京:地质出版社, 1984, 199~200。

Typomorphic Peculiarities of Schist-Quartzite-Type Disthene Deposit in Southwest Henan Province and Northern Jiangsu Province

Wang Keqin, Li Mingkai, Yan Guozhi, Feng Huimin

The development of schist-quartzite-type disthene deposit experienced regional metamorphic, dynamic metamorphic and pneumatolytic solution stages. There are certain differences in physical property, micro-element content and oxygen isotope constitution of different genetic disthenes.